



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 13 947 B4** 2004.03.25

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 13 947.0**

(22) Anmeldetag: **22.03.2001**

(43) Offenlegungstag: **26.09.2002**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **25.03.2004**

(51) Int Cl.⁷: **F01N 9/00**
F01N 3/08, F01N 3/10

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

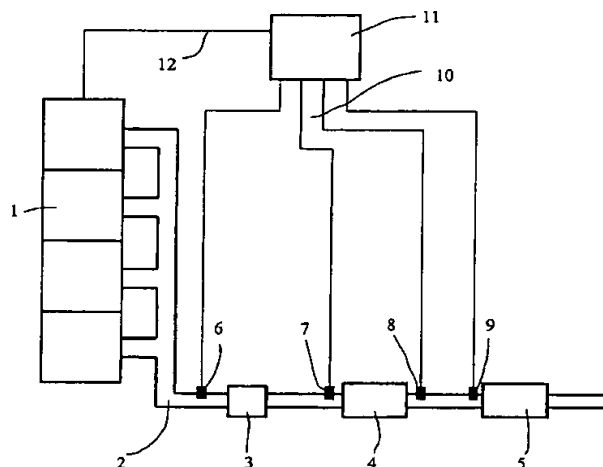
(72) Erfinder:
Günther, Josef, Dipl.-Ing., 71563 Affalterbach, DE;
Voigtländer, Dirk, Dr.-Ing., 70825
Korntal-Münchingen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

GB 22 67 365 A
EP 08 02 315 A2
WO 00/21 647

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Verringerung des Stickoxidgehalts im Abgas einer im Mager-Fett-Wechsel betriebenen Brennkraftmaschine**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Verringerung des Stickoxidgehalts im Abgas einer im Mager-Fett-Wechsel betriebenen Brennkraftmaschine (1), die über eine Steuereinheit (11) verfügt und eine Abgasleitung (2) aufweist, in der in Strömungsrichtung hintereinander ein Start-Katalysator (3), ein Stickoxid-Speicher-Katalysator (4) und ein SCR-Katalysator (5) angeordnet sind, wobei zur Regeneration des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) wiederkehrende Nitrat-Regenerationsphasen durchgeführt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) von der Steuereinheit (11) ermittelt und wenigstens innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird, wobei der SCR-Katalysator (5) in der Abgasleitung (2) mindestens soweit stromab des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) angeordnet ist, dass sich im überwiegenden Teil des vorgesehenen Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine (1) am Eingang des SCR-Katalysators (5) eine um etwa 50 °C bis etwa 150 °C niedrigere Temperatur als am Eingang des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) einstellt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verringerung des Stickoxidgehalts im Abgas einer im Mager-Fett-Wechsel betreibbaren Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Aus der WO 00/21647 ist eine Abgasreinigungsanlage mit mehreren hintereinander geschalteten reinigungswirksamen Komponenten bekannt. Dies sind ein Oxidationskatalysator, ein Partikelfilter, ein Stickoxid-Speicher-Katalysator und ein Drei-Wege-Katalysator. Das vom Oxidationskatalysator durch Oxidation von NO erzeugte NO₂ wird dabei zur Entfernung von am Partikelfilter abgelagertem Ruß genutzt, während durch den nachgeschalteten Stickoxid-Speicher-Katalysator Stickoxide aus dem Abgas entfernt werden. Eingangsseitig des Stickoxid-Speicher-Katalysators erfolgt eine Zugabe von Reduktionsmittel, um den Stickoxid-Speicher-Katalysator regenerieren zu können, wobei ein Reduktionsmittelschlupf durch den nachgeschalteten Drei-Wege-Katalysator aus dem Abgas entfernt wird. Die Abgasreinigungsanlage erlaubt eine umfassende Abgasreinigung, ist jedoch vergleichsweise kompliziert aufgebaut.

[0003] Aus der GB 2 267 365 A ist ein Abgasnachbehandlungssystem zur Entfernung von NO_x insbesondere aus dem Abgas von Dieselmotoren bekannt. Dieses Abgasnachbehandlungssystem umfasst einen sogenannten SCR-Katalysator, dem aus einem separaten Vorratsbehälter Ammoniak oder eine Ammoniak freisetzende Substanz zur selektiven NO_x-Reduktion zugeführt wird. Nachteilig an diesem System ist die Zufuhr des Reduktionsmittels aus einer externen Quelle sowie der eingeschränkte Temperaturbereich der Wirksamkeit des SCR-Katalysators.

[0004] Ferner sind Abgasreinigungsanlagen mit in Strömungsrichtung hintereinander angeordneten Katalysatoren, wie einem Start-Katalysator, einem Stickoxid-Speicher-Katalysator und einem SCR-Katalysator bekannt. Diese werden insbesondere in Kraftfahrzeugen eingesetzt, die eine im Mager-Fett-Wechsel betreibbare Brennkraftmaschine in Form eines direkt einspritzenden Ottomotors besitzen. Zur Stickoxidentfernung entzieht das im Katalysatormaterial des Stickoxid-Speicherkatalysators beispielsweise vorhandene Barium-Carbonat bei magerem Betrieb der Brennkraftmaschine dem dann oxidierenden Abgas Stickoxid (NO_x) unter Bildung von festem Barium-Nitrat. Aufgrund der damit verbundenen Materialerschöpfung wird von Zeit zu Zeit eine Regeneration des NO_x-Speicherkatalysators notwendig. Die sogenannte Nitrat-Regeneration geschieht dadurch, dass die Brennkraftmaschine für eine gewisse Zeit fett betrieben wird. Das in dem resultierenden reduktionsmittelhaltigen Abgas instabile Barium-Nitrat zersetzt sich hierbei wieder unter Rückbildung von Barium-Carbonat und unter Freisetzung

von NO_x. Letzteres wird von den dann im Abgas vorhandenen Reduktionsmitteln (H₂, CO und HC) an der auf dem NO_x-Speicherkatalysator aufgetragenen Edelmetallkomponente überwiegend zu unschädlichem Stickstoff (N₂) reduziert. Eine auf der Basis des beschriebenen Verfahrens über lange Zeit andauernde NO_x-Verringerung erfordert demnach einen wiederkehrenden Mager-Fett-Wechsel der Brennkraftmaschine, wobei allerdings der für die Nitrat-Regeneration notwendige Fett-Betrieb den im Mager-Betrieb erzielten Kraftstoffverbrauchsvorteil der Brennkraftmaschine schmälert. Mit Blick auf den Kraftstoffverbrauch ist daher ein möglichst hoher Zeitanteil des Mager-Betriebs anzustreben. Insbesondere bei einem direkt einspritzenden Ottomotor als Brennkraftmaschine für ein Kraftfahrzeug ist jedoch der Mager-Betrieb aus verbrennungstechnischen Gründen nur bei Niedriglast bzw. Teillast möglich, weshalb bei höheren Lasten solche Brennkraftmaschinen mit einem etwa stöchiometrischen oder sogar mit einem fetten (unterstöchiometrischen) Luft-Kraftstoffverhältnis betrieben werden.

[0005] Bei den vorliegenden reduzierenden Abgasbedingungen des Fett-Betriebs wird NO_x an einem herkömmlichen NO_x-Speicher-Katalysator von im Abgas enthaltenen H₂ zum Teil zu geruchsintensivem und schädlichem Ammoniak (NH₃) reduziert. Hauptsächlich erfolgt aber die NH₃-Bildung an einem dem NO_x-Speicher-Katalysator vorgeschalteten Start-Katalysator. Wenn dem NO_x-Speicher-Katalysator ein geeigneter SCR-Katalysator (SCR = Selective Catalytic Reduction) nachgeschaltet wird, der die Eigenschaft besitzt, unter reduzierenden (fetten) Bedingungen NH₃ einzuspeichern und unter oxidierenden (mageren) Bedingungen die Umsetzung des eingespeicherten NH₃ mit NO_x zu unschädlichem N₂ zu katalysieren, ergibt sich vorteilhafterweise eine weitere Verringerung der NO_x-Emission im Mager-Fett-Wechselbetrieb. Die Kombination von NO_x-Speicher-Katalysator und SCR-Katalysator ermöglicht daher, die Mager-Betriebsphasen der Brennkraftmaschine ohne Verschlechterung der NO_x-Verminderung deutlich zu verlängern, wobei es gegebenenfalls vorteilhaft ist, über eine erhöhte NO_x-Bildung der Brennkraftmaschine die Bereitstellung von NH₃ zu steigern.

[0006] Eine gattungsgemäße Brennkraftmaschine mit dafür geeigneter Abgasnachbehandlungseinrichtung ist aus der Offenlegungsschrift EP 0 802 315 A2 bekannt.

[0007] So zeigt die EP 0 802 315 A2 in einem Ausführungsbeispiel nach Fig. 13 eine Katalysatoranordnung mit einem als 3-Wege-Katalysator mit einer erhöhten NH₃-Bildungsfähigkeit ausgebildeten Start-Katalysator stromauf eines NO_x-Speicherkatalysators und nachgeschaltetem SCR-Katalysator. Nachteilig ist, dass einerseits die Wirksamkeit der bekannten NO_x-Speicherkatalysatoren unterhalb von ca. 250 °C und oberhalb von ca. 450 °C stark nachlässt. Andererseits ist zu beachten, dass typische

SCR-Katalysatoren nur sinnvoll in einem Temperaturbereich zwischen ca. 200 °C und ca. 450 °C betrieben werden können. Die Fähigkeit zur NH₃-Speicherung ist bei niedrigen Temperaturen am höchsten und nimmt mit steigender Temperatur mehr oder weniger stark ab.

[0008] Daher ergibt sich, dass Zeitpunkt und Dauer des Fett-Betriebs zur NH₃-Erzeugung in Abhängigkeit von der Temperatur des NO_x-Speicher-Katalysators und des SCR-Katalysators entscheidenden Einfluss auf den Verbrauch und den NO_x-Ausstoß der im Mager-Fett-Wechsel betriebenen Brennkraftmaschine haben.

[0009] Die Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren zum Betreiben einer Anlage der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem die Bereitstellung von NH₃, die Menge des im SCR-Katalysator eingespeicherten NH₃, der NO_x-Speicher-Betrieb und der Nitratregenerations-Betrieb des NO_x-Speicher-Katalysators unter Berücksichtigung des jeweiligen Katalysatorzustands so aufeinander abgestimmt sind, dass eine möglichst effiziente Verringerung des NO_x-Gehalts im Abgas in einem möglichst großen Betriebsbereich der Brennkraftmaschine erzielbar ist.

[0010] Die Erfindung löst diese Aufgabe durch die Angabe eines Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren legt die Ermittlung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators durch die Steuereinheit zugrunde, wodurch die zur NO_x-Verminderung bei Mager-Betrieb im SCR-Katalysator zur Verfügung stehende NH₃-Menge bewertet werden kann. Wird von der Steuereinheit ein zu starkes Absinken der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators festgestellt, so wird zumindest innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen des NO_x-Speicher-Katalysators der für die Nitrat-Regeneration des NO_x-Speicher-Katalysators notwendige Fett-Betrieb der Brennkraftmaschine zur NH₃-Bildung durch die z.B. am Startkatalysator stattfindende Reduktion von NO_x zu NH₃ ausgenutzt. Die bei Fett-Betrieb üblicherweise relativ niedrige NO_x-Bildung wird erhöht, wodurch es möglich wird, innerhalb der kurzen Zeit der Nitrat-Regeneration eine entsprechend starke Anhebung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators zu erreichen. Der Vorgang der Nitrat-Regeneration wird durch die Erhöhung der Stickoxidbildung dabei nicht beeinträchtigt. SCR- und NO_x-Speicher-Katalysator werden damit wieder in einen hinsichtlich der NO_x-Verminderung wirksamen Zustand gebracht und können anschließend erneut dementsprechend lange zur NO_x-Verminderung im verbrauchsgünstigen Mager-Betrieb eingesetzt werden. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird vorteilhafterweise erreicht, dass deutlich weniger zusätzliche NH₃-Erzeugungsphasen mit den damit verbundenen Kraftstoffverbrauchs- und Nachteilen notwendig werden. Eine Ausdehnung des Mager-Betriebs hinsichtlich des Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine zu höheren

Lasten und damit zu höheren Abgastemperaturen lässt sich dadurch erzielen, dass der SCR-Katalysator mindestens soweit stromab des NO_x-Speicher-Katalysators angeordnet ist, dass sich im überwiegenden Teil des vorgesehenen Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine am Eingang des SCR-Katalysators eine um etwa 50 °C bis etwa 150 °C niedrigere Temperatur als am Eingang des NO_x-Speicher-Katalysators einstellt. Dadurch kann der SCR-Katalysator auch dann noch zur NO_x-Verminderung eingesetzt werden, wenn beim stromauf angeordneten NO_x-Speicher-Katalysator die Temperatur-Obergrenze des Wirksamkeitsbereichs überschritten wird und dieser somit keinen oder nur einen geringen Beitrag zur NO_x-Verminderung leisten kann. Dabei ist unter dem überwiegenden Teil des vorgesehenen Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine der Betriebsbereich bei üblichem Fahrbetrieb nach erfolgtem Warmlauf zu verstehen.

[0012] Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegebenen Verfahrens möglich.

[0013] Bei dem nach Anspruch 2 weitergebildeten Verfahren wird die Entscheidung darüber, ob ein Bedarf zur Erhöhung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators besteht, an die Bildung eines oberen Schwellenwertes S1 für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators gebunden. Wird der von der Steuereinheit gebildete Schwellenwert S1 unterschritten, so wird die NH₃-Beladung dadurch angehoben, dass zumindest innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen des NO_x-Speicher-Katalysators die NO_x-Bildung der Brennkraftmaschine erhöht wird. Durch die z.B. am Startkatalysator stattfindende Reduktion von NO_x zu NH₃ wird der erhöhte NO_x-Ausstoß zur NH₃-Bildung genutzt.

[0014] Eine weitere Verfeinerung der Bewertung der aktuellen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators wird gemäß des nach Anspruch 3 weitergebildeten Verfahrens dadurch erreicht, dass von der Steuereinheit zusätzlich zum oberen Schwellenwert S1 ein unterer Schwellenwert S2 für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators gebildet wird. Liegt die NH₃-Beladung in dem Bereich zwischen S1 und S2, wird der Steuereinheit signalisiert, dass, außer der innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen vorgenommenen Erhöhung der NO_x-Bildung und der nachfolgenden NO_x-Reduktion zu NH₃, keine weiteren Maßnahmen zur Erhöhung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators notwendig sind. Durch das Zusammenfassen von Nitrat-Regeneration und NH₃-Bildung wird der dadurch notwendige Fett-Betrieb vorteilhafterweise optimal ausgenutzt und der damit verbundene Kraftstoffverbrauch minimiert.

[0015] Vorteilhafterweise werden die Schwellenwerte S1 und S2 für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators gemäß Anspruch 7 in Abhängigkeit von der Temperatur des SCR-Katalysators und der Lastanforderung an die Brennkraftmaschine vorgegeben.

Die Temperaturabhängigkeit der Schwellenwerte S1 und S2 kann z.B. auf die vom SCR-Katalysator maximal aufnehmbare NH₃-Menge bezogen sein, die ihrerseits sehr stark von der Temperatur des SCR-Katalysators abhängig ist. Auf diese Weise können die Schwellenwerte an die momentan vorhandene NH₃-Aufnahmekapazität des SCR-Katalysators angepasst werden. Die durch Wertezuordnung oder auf andere Weise vorliegende Temperaturabhängigkeit der maximalen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators ist dabei zweckmäßigerweise in einem Speicher der Steuereinheit abgelegt, die wie üblich zusätzlich über Funktionen zur Dateneingabe und Datenausgabe sowie über datenverarbeitende Funktionen verfügt.

[0016] Es hat sich ferner als günstig erwiesen, gemäß Anspruch 6 nach erfolgtem Kaltstart wenigstens zeitweise während der ohnehin bei fettem Luft-Kraftstoffverhältnis durchgeführten Warmlaufphase der Brennkraftmaschine zusätzlich die NO_x-Bildung der Brennkraftmaschine zu erhöhen. Durch diese Vorgehensweise wird bereits während des Warmlaufs der Brennkraftmaschine NH₃ z.B. am Startkatalysator gebildet und in den SCR-Katalysator eingelagert. Zum Zeitpunkt des Warmlaufs weist dieser noch eine relativ niedrige Temperatur auf und ist daher in der Lage, relativ große NH₃-Mengen aufzunehmen. Der SCR-Katalysator verfügt somit beim Motorwarmlauf sofort mit Erreichen der Temperatur-Untergrenze seines Wirksamkeitsbereichs über eingespeichertes NH₃ zur NO_x-Verminderung.

Zeichnung

[0017] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen

[0018] Fig. 1 ein schematisches Blockbild einer Brennkraftmaschine mit zugehöriger Abgasreinigungsanlage,

[0019] Fig. 2 ein Diagramm für den zeitlichen Verlauf des Luft-Kraftstoffverhältnisses der Brennkraftmaschine kurze Zeit vor, während und kurze Zeit nach der Nitrat-Regeneration des NO_x-Speicher-Katalysators und

[0020] Fig. 3 ein weiteres Diagramm für den zeitlichen Verlauf des Luft-Kraftstoffverhältnisses der Brennkraftmaschine kurze Zeit vor, während und kurze Zeit nach der Nitrat-Regeneration des NO_x-Speicher-Katalysators.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0021] Die in Fig. 1 schematisch gezeigte Anlage dient zur Reinigung des Abgases einer Brennkraftmaschine 1, wie sie z. B. in einem Kraftfahrzeug eingesetzt wird und beispielsweise in Form eines direkt einspritzenden Ottomotors ausgebildet ist. Die Anlage weist einen in einer Abgasleitung 2 motornah angeordneten Startkatalysator 3 sowie nachgeschaltet

einen NO_x-Speicher-Katalysator 4 und einen SCR-Katalysator 5 auf, wobei letztere 4,5 in der Unterbodenlage des Kraftfahrzeugs verbaut sein können. Des Weiteren ist in der Abgasleitung 2 stromauf des Startkatalysators 3 ein Sauerstoffsensor 6 untergebracht, welcher als Signalgeber für die Regelung des Luft-Kraftstoffverhältnisses der Brennkraftmaschine 1 während des Mager-Fett-Wechselbetriebs dient. Ausgangsseitig des NO_x-Speicher-Katalysators 4 ist in der Abgasleitung 2 ein auf NO_x und NH₃ empfindlicher Sensor 8 untergebracht. Die Messung der Temperatur ist in der skizzierten Anlage durch entsprechend positionierte Temperatursensoren 7 und 9 eingangsseitig von NO_x-Speicher-Katalysator 4 und SCR-Katalysator 5 möglich. Die Signale der Sensoren 6, 7, 8, 9 werden über Messleitungen 10 der Steuereinheit 11 als Eingabegrößen zugeführt. Mittels der in der Steuereinheit 11 implementierten Funktionalität erfolgt über eine Steuerleitung 12 zwischen Brennkraftmaschine 1 und Steuereinheit 11 die Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 1.

[0022] Der in Fig. 1 eingezeichnete Startkatalysator 3 besitzt aufgrund seiner katalytischen Beschichtung sowohl die Wirkung eines Oxidationskatalysators, als auch die Eigenschaft unter den reduzierenden Bedingungen eines fetten Betriebs der Brennkraftmaschine 1 das im Abgas vorhandene NO_x chemisch zu NH₃ zu reduzieren. Demgegenüber verfügt der NO_x-Speicher-Katalysator 4 über die Fähigkeit, unter den oxidierenden Bedingungen eines mageren Betriebs der Brennkraftmaschine 1 das im Abgas vorhandene NO_x, hauptsächlich durch chemische Bindung als Nitrat an das Beschichtungsmaterial, aufzunehmen und unter reduzierenden Bedingungen wieder freizusetzen und zum größten Teil in unschädlichen Stickstoff umzusetzen. Der stromab des NO_x-Speicher-Katalysators 4 angeordnete SCR-Katalysator 5 besitzt die, z.B. auch aus der Kraftwerkstechnik her bekannte Eigenschaft, bei reduzierenden Bedingungen NH₃ einspeichern zu können und bei oxidierenden Bedingung dieses eingespeicherte NH₃ dann als Reaktionspartner in einer selektiven katalytischen Reduktionsreaktion unter Stickstoffbildung zur chemischen Reduktion von NO_x nutzen zu können.

[0023] Die letztgenannte Eigenschaft wird insbesondere dazu genutzt, NO_x durch die genannte selektive Reduktionsreaktion unschädlich zu machen. Das NO_x resultiert aus der im Verlauf der NO_x-Speicherung zunehmenden Erschöpfung des NO_x-Speichermaterials bei Mager-Betrieb der Brennkraftmaschine (zunehmender NO_x-Schlupf). Voraussetzung für dieses Verhalten des SCR-Katalysators 5 ist allerdings, dass ihm zuvor entsprechende Mengen an NH₃ zur Einspeicherung zur Verfügung gestellt wurden. Dies wird durch Einstellung reduzierender Bedingungen, d.h. durch Einstellung eines fetten Betriebs der Brennkraftmaschine 1 und der oben genannten NH₃-Bildung am Startkatalysator 3 erreicht.

Je nach NH₃-Bedarf kann es dabei notwendig werden, die NH₃-Bildung durch eine mehr oder weniger starke Erhöhung der bei fettem Betrieb der Brennkraftmaschine 1 üblicherweise relativ niedrigen NO_x-Bildung zu vergrößern. Dies gelingt durch eine Erhöhung der Verbrennungstemperaturen im Brennraum, was wiederum durch eine Frühverstellung des Zündwinkels bei einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine bzw. durch eine Frühverlegung der Kraftstoffeinspritzung erzielt wird.

[0024] Ist die Stärke des NO_x-Schlupfes im Mager-Betrieb der Brennkraftmaschine 1 auf ein inakzeptables Maß angestiegen, muss der NO_x-Speicher-Katalysator 4 durch Bereitstellung von Reduktionsmittel einer Nitrat-Regeneration unterzogen werden, was ebenfalls durch Umsteuern der Brennkraftmaschine von Magerauf Fett-Betrieb bewerkstelligt wird. Insgesamt wird durch den beschriebenen wiederkehrenden Wechsel von Mager- und Fett-Betrieb eine effektive Entfernung von NO_x aus dem Abgas der Brennkraftmaschine 1 erreicht. Im Vergleich zu einer Abgasanlage, die nur mit einem NO_x-Speicher-Katalysator ausgestattet ist, kann durch das Zusammenwirken von NO_x-Speicher-Katalysator 4 und SCR-Katalysator 5 die Länge der Mager-Betriebsphasen deutlich ausgedehnt werden und damit auch eine entsprechend größere Kraftstoffverbrauchersparnis erzielt werden.

[0025] Typischerweise weist der NO_x-Speicher-Katalysator 4 in einem Temperaturbereich von etwa 250 °C bis 450 °C bzw. der SCR-Katalysator 5 in einem Temperaturbereich (Temperaturfenster) von 200 °C und 450 °C eine gute Wirksamkeit auf. Mit Blick auf die Lage der Temperaturfenster ist der Abstand des SCR-Katalysators 5 vom NO_x-Speicher-Katalysator 4 so gewählt, dass der SCR-Katalysator 5 nach erfolgtem Warmlauf im realen Fahrbetrieb eine um etwa 50 °C bis 150 °C niedrigere Temperatur als der stromauf angeordnete NO_x-Speicher-Katalysator 4 aufweist. Es ergibt sich damit, dass der SCR-Katalysator 5 auch dann noch wirksam ist, wenn z.B. aufgrund einer erhöhten Motorlast die Temperatur des NO_x-Speicher-Katalysators 4 auf bis zu 600 °C angestiegen, und er damit unwirksam geworden ist. Die Wirksamkeit des SCR-Katalysators ist dabei immer noch gegeben, da er eine niedrigere Temperatur besitzt. Mithin ergibt sich für dieses kombinierte Katalysatorsystem ein erweitertes Betriebs-Temperaturfenster von etwa 250 °C bis 600 °C, bezogen auf die Abgastemperatur am Eintritt in den NO_x-Speicher-Katalysators 4 und damit auch die Möglichkeit, die Brennkraftmaschine 1 in einem vergrößerten Last-Bereich mager zu betreiben. Durch besondere konstruktive Maßnahmen, wie z.B. eine speziell gestaltete Abgasleitung 2 oder durch Anwendung spezieller Maßnahmen zur Kühlung des Abgases, kann die üblicherweise vorhandene Temperaturdifferenz von etwa 50 °C bis 150 °C zwischen NO_x-Katalysator 4 und SCR-Katalysator 5 noch weiter erhöht werden, falls dies aufgrund der Motorcharakteristik oder der

Art der eingesetzten Katalysatoren erforderlich ist.

[0026] Abhängig von der durch die Temperatursensoren 7 und 9 festgestellten Temperatur der jeweiligen Katalysatoren 4, 5 wird entweder die Brennkraftmaschine 1 in reinem Mager-Fett-Wechsel ohne zusätzliche NH₃-Erzeugung betrieben und damit die NO_x-Verminderung hauptsächlich vom NO_x-Katalysator 4 übernommen. Oder es wird die NO_x-Verminderung ganz oder teilweise am SCR-Katalysator 5 durchgeführt, was jedoch erfordert, dass dieser über eine ausreichende Menge an eingespeichertem NH₃ verfügt. Die im SCR-Katalysator 5 vorhandene NH₃-Beladung wird über eine sensorisch ausgangseitig des NO_x-Speicher-Katalysators 4 gemessene Konzentration von NO_x und NH₃ ermittelt. Im vorliegenden Fall geschieht dies mit Hilfe des auf NO_x und NH₃ empfindlichen NO_x/NH₃-Sensors 8 unter Einbeziehung des durch die Motorlast bestimmten Abgasstroms in der Steuereinheit 11 durch laufende Aufsummierung der dort errechneten NO_x- und NH₃-Massenströme. Dabei wird berücksichtigt, dass in den SCR-Katalysator 5 eingetragenes NO_x durch Reaktion mit eingespeichertem NH₃ die NH₃-Beladung entsprechend vermindert. Die Ermittlung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5 kann jedoch auch mit getrennten Sensoren für die NO_x- und NH₃-Konzentration oder modellbasiert vorgenommen werden, wobei auf z.B. in der Steuereinheit 11 abgelegte entsprechende Kennfelder für die Temperatur der Katalysatoren 3, 4, 5, den NO_x-Ausstoß der Brennkraftmaschine 1 oder weiterer wesentlicher Größen zurückgegriffen wird.

[0027] Wird von der Steuereinheit 11 ein Absinken der NH₃-Beladung festgestellt, so wird zumindest während eines Teils der Nitrat-Regeneration des NO_x-Speicher-Katalysators 4 die NO_x-Bildung der Brennkraftmaschine 1 erhöht und unter den gleichzeitig vorhandenen reduzierenden Bedingungen des fetten Luft-Kraftstoffverhältnisses das in vermehrtem Maße ausgestoßene NO_x zum größten Teil am Startkatalysator 3 zu NH₃ reduziert. Für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5 wird dabei zweckmäßigerweise ein geeigneter oberer Schwellenwert S1 und unterer Schwellenwert S2 festgesetzt. Diese Schwellenwerte S1, S2 sind z.B. ins Verhältnis zu der bekannten temperaturabhängigen maximalen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5 gesetzt. Somit kann die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5 bewertet und bei unterschiedlich starkem Absinken der NH₃-Beladung entsprechend reagiert werden.

[0028] Durch eine ebenfalls in der Steuereinheit 11 hinterlegte, z.B. monoton ansteigende, Abhängigkeit der Schwellenwerte S1, S2 und S3 von der Lastanforderung an die Brennkraftmaschine 1 wird berücksichtigt, dass bei einer hohen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5 erst bei vergleichsweise hoher Lastanforderung die NO_x-Bildung erhöht bzw. die NH₃-Bildung ausgelöst wird und umgekehrt bei einer niedrigen NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 5 bereits bei vergleichsweise niedriger Lastanforde-

rung die NOx-Bildung erhöht bzw. die NH3-Bildung ausgelöst wird, so dass ständig eine gewisse NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 aufrechterhalten wird.

[0029] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf den in Fig. 2 gezeigten zeitlichen Verlauf des Luft-Kraftstoffverhältnisses kurze Zeit vor, während und kurze Zeit nach der Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators 4 die Vorgehensweise erläutert, wenn die NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 zwar den Schwellenwert S1, nicht aber den Schwellenwert S2 unterschritten hat.

[0030] Der Bereich von S1 bis S2 für die NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 ist so gewählt, dass eine NH3-Bildung an den vorgeschalteten Katalysatoren 3 und 4 innerhalb der ohnedies von Zeit zu Zeit notwendig werdenden Nitrat-Regenerationsphasen des NOx-Speicher-Katalysators 4 als geeignet angesehen werden kann, um die NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 wieder ausreichend anzuheben. Wird vom NOx/NH3-Sensor 8 ein entsprechend hoher NOx-Schlupf des NOx-Speicher-Katalysators 4 gemessen, so wird zum Zeitpunkt t0 dessen Nitrat-Regeneration eingeleitet. Hierzu wird ausgehend von dem deutlich über 1,0 liegenden Luft-Kraftstoffverhältnis des Mager-Betriebs zunächst in einer ersten Phase a für kurze Zeit zu einem stark fetten Luft-Kraftstoffverhältnis von kleiner als 0,8 für den Betrieb der Brennkraftmaschine gewechselt. Grund hierfür ist, dass damit in sehr kurzer Zeit der bei Mager-Betrieb gespeicherte Sauerstoff aus dem Speichermaterial des NOx-Speicher-Katalysators 4 entfernt werden kann. Anschließend wird zum Zeitpunkt t1 auf ein leicht fettes Luft-Kraftstoffverhältnis vorzugsweise zwischen 0,90 und 0,995 gewechselt und die Nitrat-Regeneration fortgesetzt. Dabei kann der Übergang von starker Anfettung auf das schwach fette Luft-Kraftstoffverhältnis an Stelle der in Fig. 2 dargestellten sprunghaften Änderung auch gleitend erfolgen. Gleichzeitig wird die unter diesen Bedingungen übliche geringe NOx-Bildung der Brennkraftmaschine 1 durch eine Früh-Verstellung des Zündwinkels und/oder des Zeitpunkts der Kraftstoff-Einspritzung erhöht. Das auf diese Weise motorisch erzeugte NOx wird unter den dann vorherrschenden leicht fetten Bedingungen hauptsächlich am motornah angebrachten Start-Katalysator 3 aber auch am nachfolgenden NOx-Speicher-Katalysator 4 nahezu vollständig in NH3 umgewandelt und anschließend im SCR-Katalysator 5 eingelagert, wodurch dessen NH3-Beladung angehoben wird. Nachdem diese zweite Phase b der Nitrat-Regeneration zum Zeitpunkt t2 abgeschlossen ist, wird zum hohen Luft-Kraftstoffverhältnis des Mager-Betriebs zurückgekehrt und Zündwinkel und Kraftstoff-Einspritzbeginn auf die dafür vorgesehenen Werte eingestellt. Kurz vor Beginn der nächsten Nitrat-Regeneration wird aufgrund der dann vorhandenen NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 entschieden, ob dabei auf zusätzliche NOx-Erzeugungsmaßnahmen verzichtet

werden kann (NH3-Beladung > S1) oder ob diese notwendig sind (NH3-Beladung < S1).

[0031] Für den Fall, dass die NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 den Schwellenwert S2 unterschritten hat, sind weitere zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der NOx-Bildung und NH3-Bildung notwendig. Die entsprechende Vorgehensweise zur Steuerung der Brennkraftmaschine wird unter Bezugnahme auf den in Fig. 3 gezeigten zeitlichen Verlauf des Luft-Kraftstoffverhältnisses kurze Zeit vor, während und kurze Zeit nach der Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators 4 exemplarisch aufgezeigt.

[0032] Auch für den Fall, dass die NH3-Beladung den Schwellenwert S2 unterschritten hat, bleibt zunächst der Mager-Betrieb der Brennkraftmaschine 1 bis zum Auftreten des Bedarfs für die Nitrat-Regeneration des NOx-Speicherkatalysators 4 bestehen. Sodann wird die Nitrat-Regeneration mit kurzzeitiger starker Anfettung auf ein Luft-Kraftstoffverhältnis von kleiner als 0,8 im Teil a und mit erhöhter NOx-Bildung im zweiten Teil b durchgeführt. Allerdings wird nun auf die Weise auf die stärker abgesunkene NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 reagiert, dass die Bedingungen des zweiten Teils b der Nitrat-Regeneration weiterhin beibehalten werden. Und zwar wird die durch Frühverstellung von Zündwinkel und/oder Einspritzbeginn erhöhte NOx-Bildung bei dem leicht fett eingestellten Luft-Kraftstoffverhältnis zwischen vorzugsweise 0,9 und 0,995 auch nach der zum Zeitpunkt t2 abgeschlossenen Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators 4 bis zum Zeitpunkt t3 zum Zwecke der weiteren Bildung von NH3 aufrechterhalten. Da nach Abschluss der Nitrat-Regeneration zum Zeitpunkt t2 der NOx-Speicher-Katalysator 4 von oxidierend wirkendem eingespeicherten Sauerstoff bzw. Nitrat befreit ist, findet unter den fortbestehenden leicht fetten Bedingungen auch an diesem Katalysator 4 eine effektive NH3-Bildung statt. Die eingestellten verbrauchsungünstigen Bedingungen müssen daher meist nur kurze Zeit über t2 hinaus beibehalten werden, da die NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 entsprechend schnell wieder angehoben wird.

[0033] Ist die NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 unter den Schwellenwert S2 abgesunken und gleichzeitig z.B. durch besondere Betriebsbedingungen ein erhöhter Leistungsbedarf des SCR-Katalysators gegeben, wird sogleich ein Luft-Kraftstoffverhältnis vorzugsweise zwischen 0,9 und 0,995 eingestellt, ohne Rücksicht darauf, ob dies im Hinblick auf eine Nitrat-Regeneration des NOx-Speicher-Katalysators notwendig und zweckmäßig wäre. Gleichzeitig wird die NH3-Bildung über eine zusätzliche Erhöhung der NOx-Bildung durch die Frühverstellung von Zündwinkel und/oder Einspritzbeginn gesteigert. Damit wird ein rascher Anstieg der NH3-Beladung des SCR-Katalysators 5 erzielt, so dass entsprechend schnell in den erwünschten Mager-Betrieb der Brennkraftmaschine 1 zurückgeschaltet werden kann.

[0034] Die hohe NH₃-Speicherfähigkeit des SCR-Katalysators 5 bei niedriger Temperatur und die bei Kaltstart bzw. Warmlauf der Brennkraftmaschine 1 meist ohnehin vorhandene fette Einstellung des Luft-Kraftstoffverhältnis wird mit Vorteil ausgenutzt, indem bereits der Kaltstart bzw. Warmlauf der Brennkraftmaschine 1 so vorgenommen wird, dass eine erhöhte NO_x-Bildung auftritt. Diese wird durch Frühverstellung von Zündwinkel und/oder Einspritzbeginn erst dann gestartet, wenn der Startkatalysator 3 die für die Umsetzung von NO_x zu NH₃ notwendige Mindesttemperatur erreicht hat. Auf diese Weise wird erreicht, dass im SCR-Katalysator 5 zum frühest möglichen Zeitpunkt des Brennkraftmaschinenbetriebs NH₃ eingespeichert wird und der SCR-Katalysator 5 somit sofort mit Erreichen seiner Betriebstemperatur für die NO_x-Verminderung im Mager-Betrieb zur Verfügung steht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verringerung des Stickoxidgehalts im Abgas einer im Mager-Fett-Wechsel betreibbaren Brennkraftmaschine (1), die über eine Steuereinheit (11) verfügt und eine Abgasleitung (2) aufweist, in der in Strömungsrichtung hintereinander ein Start-Katalysator (3), ein Stickoxid-Speicher-Katalysator (4) und ein SCR-Katalysator (5) angeordnet sind, wobei zur Regeneration des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) wiederkehrende Nitrat-Regenerationsphasen durchgeführt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) von der Steuereinheit (11) ermittelt und wenigstens innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird, wobei der SCR-Katalysator (5) in der Abgasleitung (2) mindestens soweit stromab des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) angeordnet ist, dass sich im überwiegenden Teil des vorgesehenen Betriebsbereichs der Brennkraftmaschine (1) am Eingang des SCR-Katalysators (5) eine um etwa 50 °C bis etwa 150 °C niedrigere Temperatur als am Eingang des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) einstellt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein oberer Schwellenwert S1 für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) vorgegeben wird und wenigstens innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen zur Regeneration des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird, wenn die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) unter den Schwellenwert S1 abgesunken ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein unterer Schwellenwert S2 für die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) vorgegeben wird und nur innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen zur Regeneration des Stickoxid-Spei-

cher-Katalysators (4) die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird, wenn die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) unter den Schwellenwert S1, jedoch nicht unter den Schwellenwert S2 abgesunken ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb der Nitrat-Regenerationsphasen zur Regeneration des Stickoxid-Speicher-Katalysators (4) und im direkten Anschluss an die Nitrat-Regenerationsphasen die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird, wenn die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) unter den Schwellenwert S2 abgesunken ist.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird wenn die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) unter den Schwellenwert S2 abgesunken ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zeitweise während des Warmlaufs der Brennkraftmaschine (1) die Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) erhöht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass für die Schwellenwerte S1 und S2 eine Abhängigkeit von der jeweiligen Temperatur des SCR-Katalysators (5) und eine Abhängigkeit von der Lastanforderung an die Brennkraftmaschine (1) vorgegeben wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhöhung der Stickoxidbildung der Brennkraftmaschine (1) durch eine Veränderung des Zündwinkels und/oder der Kraftstoff-Einspritzparameter der Brennkraftmaschine (1) vorgenommen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ausgangssignal eines in der Abgasleitung (2) zwischen Stickoxid-Speicher-Katalysator (4) und SCR-Katalysator (5) angebrachten NO_x/NH₃-Sensors (8) zur Ermittlung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators (5) verwendet wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

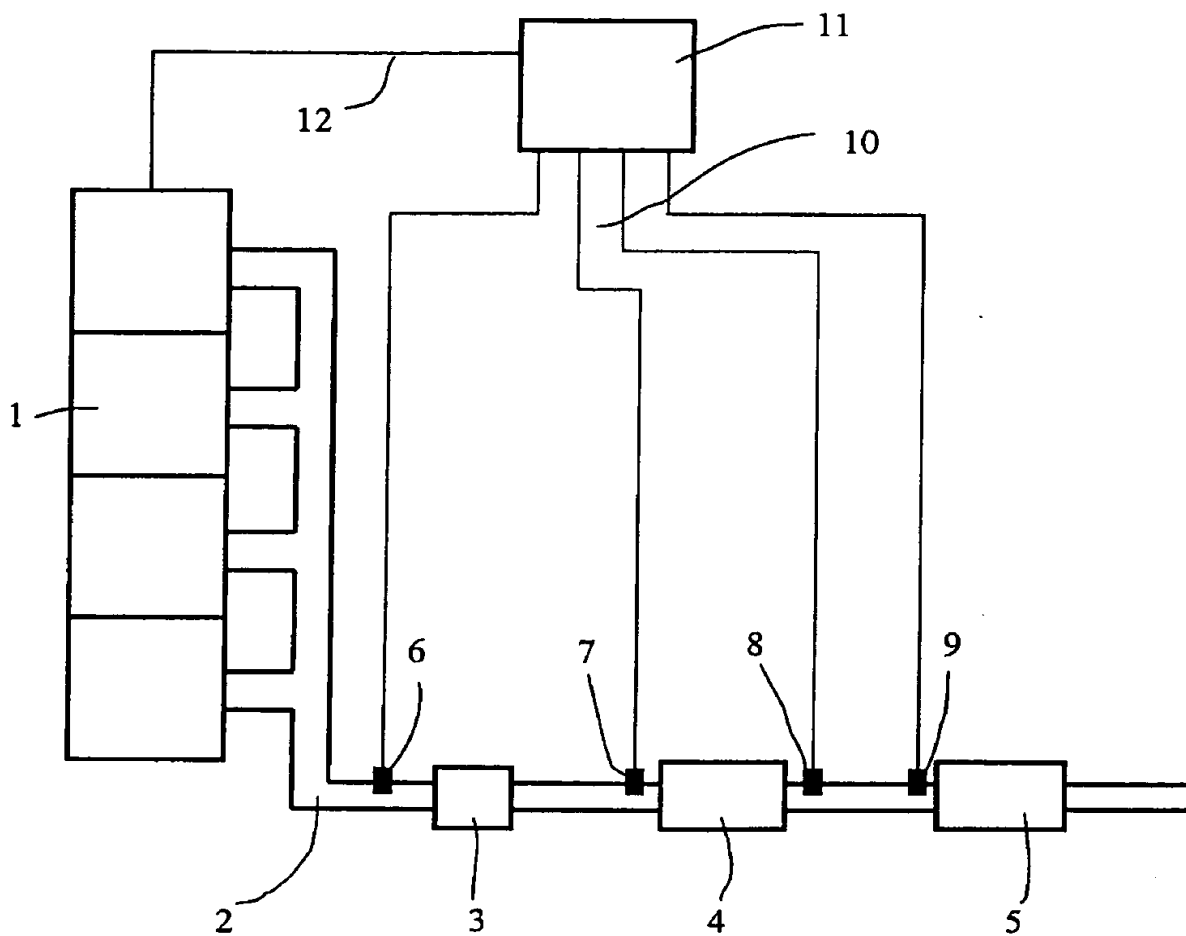


Fig. 1

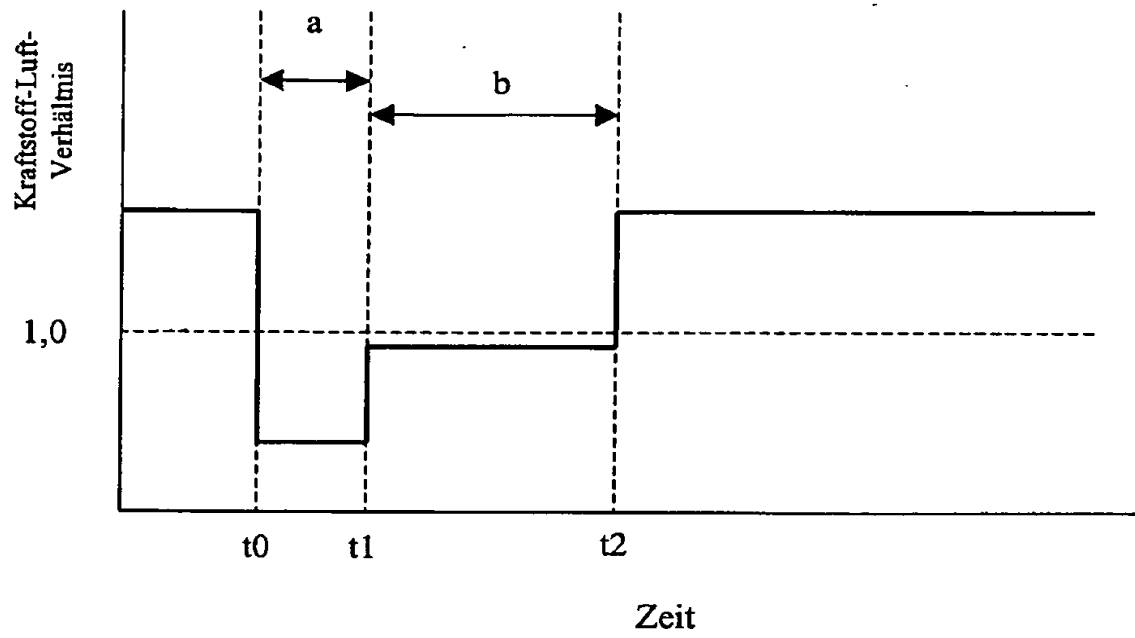


Fig. 2

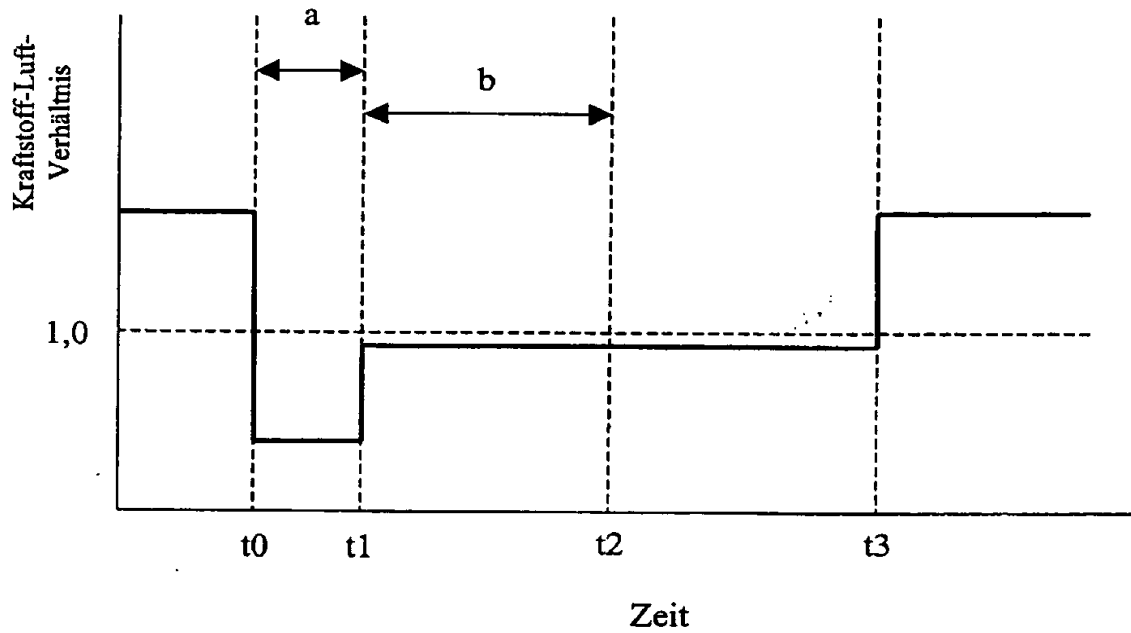


Fig. 3